

PERANCANGAN DAN UNJUK KERJA SISTEM PENGENDALIAN PROSES PADA MICROFERM FERMENTOR

DESIGN AND PROCESS CONTROL SYSTEM PERFORMANCE TEST IN MICROFERM FERMENTOR

Fadarina^{1,a)}, Rizka Nurdianti^{1,b)}, Dwi Indah Lestari¹, Abu Hasan¹

¹Program Studi Teknologi Kimia Industri/Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jalan Sriwijaya Negara, Palembang 30139, telp.0711-353414 / fax.0711-355918

e-mail : ^{a)}fadarinahc@yahoo.co.id, ^{b)}rizka.nurdianti23@student.polsri.ac.id

ABSTRACT

State of Polytechnic Sriwijaya has a Microferm Fermentor that can not be operated, therefore it needs to be fixed and developed. The development being done is the addition of process control system. The purpose of this research is to design automatic process control system that is applied to microferm fermentor based on computerization. This research method starts with calibration program initialization on the alcohol sensor, pH and temperature control system, then performance test method based on fermentation process. This research uses pH Probe SEN0169 Sensor, Thermocouple Type-K, dan Gas Sensor MQ-5 as part of system which take data and Arduino mikrokontroler as a system which control the sensors. On the designed system, final control element used is a heater, cooler, and peristaltic pump for process changes. The research result shows that pH Dfrobot SEN0169 sensor, Thermocouple Type-K and Alcohol sensor can be used as a transducer, because they can work according to desired set point, it has error measurement $\leq 1\%$. Based on sensor performance test can be concluded that those sensors can be used in microferm fermentor because they are able to produce fermentation product that is in accordance to desired conditions and produced the concentration bioethanol of 8.925%.

Keywords: pH, Temperature, Alcohol sensor, Microcontroller, Fermentor.

1. PENDAHULUAN

Sistem pengendalian proses adalah suatu usaha untuk mengatur proses dinamis agar berjalan sesuai dengan yang telah ditetapkan. Hampir semua proses yang terdapat di dunia industri membutuhkan peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter proses. Suatu pabrik tidak mungkin beroperasi dengan baik dan aman tanpa adanya suatu sistem pengendalian proses. Ada lima hal yang mendasari perancangan pengendalian proses di pabrik yaitu K3, spesifikasi produk, peraturan lingkungan, batasan operasi dan ekonomi.

Penerapan sistem pengendali bisa diterapkan pada skala laboratorium terlebih dahulu agar dapat diuji kinerjanya, karena seringkali perancangan sistem pengendalian kurang terlalu memperhatikan aspek kinerja dari sistem. Pemantauan yang teliti terhadap kinerja peralatan maupun proses merupakan hal yang penting karena dapat menambah efisiensi perawatan peralatan serta dapat mendeteksi proses yang tidak bekerja dengan baik (Bayusari dkk, 2013).

Ketersediaan alat praktikum di laboratorium teknik kimia Politeknik Negeri Sriwijaya yang dilengkapi dengan sistem kontrol sudah terpenuhi. Namun dalam hal ini, ada salah satu teknologi fermentasi yang masih tersedia tetapi mengalami penurunan performa yaitu alat *microferm* fermentor. *Microferm* fermentor adalah teknologi bioproses untuk proses fermentasi. Teknologi ini berfungsi dalam menyediakan kondisi lingkungan

yang cocok bagi mikroba didalamnya untuk menghasilkan biomassa dan metabolit.

Fermentor dilengkapi dengan peralatan mekanik dan elektrik, bahkan beberapa di antaranya dilengkapi dengan sistem kontrol yang berguna untuk mengontrol variabel fisika dan variabel kimia yang berpengaruh dalam proses fermentasi. Kontrol fisika meliputi sensor suhu, tekanan, agitasi, foam, dan kecepatan aliran, sedangkan kontrol kimia meliputi sensor pH, kadar oksigen, dan perubahan komposisi medium.

Fermentasi memegang peranan penting dalam bioproses, yaitu proses perubahan kimia pada substrat organik, baik karbohidrat, protein, lemak atau lainnya melalui kegiatan katalis biokimia yang dikenal sebagai enzim dan dihasilkan oleh jenis mikroba spesifik. Pada prosesnya, tahapan fermentasi terdiri dari pemilihan mikroba dan kultur stok, media fermentasi, preparasi inokulum, kontrol proses dan pengunduhan hasil serta operasi fermentasi. Tahapan ini menandakan bahwa fermentasi membutuhkan waktu proses yang lama.

Oleh karena itu, untuk menghasilkan jumlah produk yang optimum maka pada proses fermentasi harus dilakukan pengendalian. Pengendalian dengan sistem kontrol otomatis mampu memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, serta mempertinggi laju produksi.

Pada prosesnya fermentasi memiliki hubungan antara pertumbuhan sel, konsentrasi substrat, kecepatan pertumbuhan, serta produk akhir. Pertumbuhan mikroba sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang mengakibatkan perubahan sifat morfologi dan fisiologi. Setiap mikroorganisme mempunyai pH dan suhu pada kondisi minimal, maksimal dan optimal untuk pertumbuhannya. Derajat pH optimum untuk proses fermentasi dengan kondisi asam adalah antara 4-5 (Dompeipen dan Riardi, 2015). Pada pH dibawah 3, kecepatan proses fermentasi akan berkurang, sehingga mempengaruhi kualitas produk fermentasi.

Pada proses fermentasi, semakin lama waktu fermentasi maka semakin turun nilai pH. Hal ini karena proses fermentasi akan mengalami proses biosintesis piruvat. Proses biosintesis piruvat adalah suatu proses yang menghasilkan produk asam, seperti asam butirat, asam asetat, aseton, asetaldehid dan alkohol. Asam merupakan racun bagi khamir sehingga semakin tinggi kandungan asam akan menghambat pertumbuhan khamir (A.W.Utama dkk., 2013).

Selain dipengaruhi oleh pH, proses fermentasi juga dipengaruhi oleh suhu, yaitu jika mikroba bersifat eksoterm maka kondisi lingkungan yang dibutuhkan adalah sistem pendinginan, dan jika mikroba yang digunakan bersifat endoterm maka kondisi lingkungan suhu yang cocok adalah dengan pemanasan.

Dalam proses fermentasi untuk mengetahui kadar produk yang dihasilkan biasanya menggunakan analisa *Gas Chromatography*, *High Performance Liquid Chromatography*, metode berat jenis menggunakan piknometer dan metode dengan hidrometer alkohol (Merta dkk, 2017). Namun hal ini memerlukan waktu dan biaya yang lebih besar.

Dari uraian diatas, terdapat permasalahan berupa penurunan performa alat *Microferm* Fermentor, sehingga diperlukan perbaikan dan pengembangan. Ditinjau dari beberapa faktor yang mempengaruhi fermentasi maka pengamatan pH, suhu dan kadar alkohol tidak mungkin dilakukan secara manual dalam waktu yang lama, sehingga diperlukan instrumen yang memberikan informasi secara kontinyu.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dibuat suatu sistem pengendalian proses secara otomatis untuk menjaga agar pH dan suhu berada pada kisaran yang telah ditentukan dan dapat mengamati kadar etanol yang dihasilkan secara insitu. Pengukuran ini dirancang terintegrasi dengan sistem komputer sebagai pengendalian proses dan pengolahan data yaitu pada saat pengukuran parameter proses dapat direkam secara langsung kedalam komputer sehingga data penelitian bisa langsung dilakukan analisis.

Tujuan penelitian ini adalah membuat rancangan sistem pengendalian proses otomatis yang diterapkan pada *microferm* fermentor berbasis sistem komputer, dengan melakukan uji kinerja pengendalian proses dengan menentukan parameter kontrol yang dihasilkan dan melakukan uji kinerja berdasarkan hasil fermentasi.

Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi mengenai perancangan fermentor yang dilengkapi sistem pengendalian, dapat digunakan dalam praktikum bioproses untuk berbagai keperluan fermentasi berfase cair, dan dapat digunakan dalam sistem lain yang membutuhkan kestabilan untuk memonitoring dan melakukan sistem pengendalian.

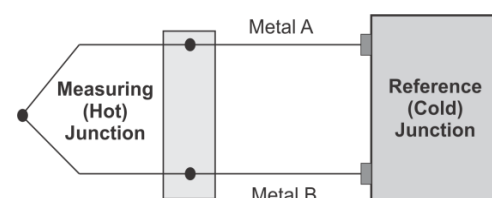
Mikrokontroler Arduino

Arduino adalah kit elektronik open source yang didalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan ATMEL. Mikrokontroler ini sendiri adalah chip yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai dengan yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai “otak” yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik (Tekkomdik, 2016).

Secara umum, arduino terdiri dari 2 bagian yaitu hardware berupa papan input/output dan software arduino yang meliputi software arduino IDE untuk menulis program dan driver untuk koneksi dengan komputer. Beberapa kelebihan mikrocontroller Arduino dibandingkan *controller* lainnya, yaitu (Syahwil, 2017): (1) Ekonomis, (2) bahasa pemrograman tidak begitu rumit, (3) Perangkat lunak dan keras bersifat *open source*, dan (4) Memiliki port USB.

Termokopel

Termokopel berasal dari kata “Thermo” yang berarti panas “Couple” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. Sebuah termokopel terdiri dari sepasang konduktor atau kawat logam yang berbeda dihubungkan bersama-sama yang menghasilkan tegangan berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara kedua ujung pasangan konduktor. Rangkaian umum dari termokopel ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian dasar Termokopel

Termokopel memiliki detektor yang dibagi menjadi 3 jenis (McMillan, 1999), yaitu *exposed junction* sering digunakan untuk pengukuran yang statis atau untuk pengukuran suhu gas non-korosif. *Underground Junction*, sering digunakan untuk pengukuran suhu gas dan cairan yang korosif baik dalam kondisi statis maupun dinamis. *Grounded Junction*, sering digunakan untuk pengukuran suhu gas dan cairan yang korosif baik dalam kondisi statis maupun dinamis dan juga

dapat diaplikasikan pada kondisi yang bertekanan tinggi.

Elemen pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Sumber panas yang dihasilkan dari elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat atau pita tahanan listrik (*resistance wire*), biasanya digunakan kawat niklin yang digulung menyerupai bentuk spiral dan dimasukkan dalam selongsong, kemudian dialiri arus listrik dan dilapisi oleh isolator yang mampu meneruskan panas dengan baik dan aman digunakan (Ariffudin dan Wulandari, 2014). Persyaratan elemen pemanas antara lain (Rahmat, 2015): (1.) Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki, (2.) Sifat mekanisnya harus kuat pada suhu yang dikehendaki, (3.) Koefisien muai harus kecil, dan (4.) Tahanan jenisnya tinggi.

Sensor pH

Sensor pH berfungsi untuk mengamati tingkat keasaman atau basa yang berkaitan dengan aktivitas hidrogen. Jenis pH elektroda yang diterapkan pada alat hasil modifikasi adalah sensor pH probes merek dfrobot SEN0169 lengkap dengan modulnya. Pemilihan sensor pH jenis ini karena memiliki harga yang terjangkau, kinerja yang cukup baik dan mampu beroperasi secara kontinyu. Hal ini sesuai dengan proses fermentasi yang membutuhkan waktu lama hingga menjadi produk.

Pada sensor pH dibutuhkan pH sensor module untuk mengkonversikan nilai keluaran dari sensor menjadi nilai analog berbentuk sinyal voltage. Nilai analog tersebut yang akan diolah oleh mikrokontroler untuk menentukan derajat keasamaan (pH) suatu larutan termasuk dalam kondisi normal, asam, atau basa.

Inti sensor pH terdapat pada permukaan *bulb* kaca yang memiliki kemampuan untuk bertukar ion positif (H^+) dengan larutan terukur. Kaca tersusun atas molekul silikon dioksida dengan sejumlah ikatan logam alkali. Pada saat *bulb* kaca terekspos air, ikatan SiO akan terprotonasi membentuk membran tipis $HSiO^+$ sesuai dengan reaksi berikut (Sabrina, 2012):
 $SiO + H_3O^+ \rightarrow HSiO^+ + H_2O$

Sensor MQ-5

Sensor MQ-5 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi berbagai macam gas yang terdapat di udara. Sensor MQ-5 juga dapat digunakan untuk mendeteksi kadar alkohol. Sensor MQ-5 tersusun dari mikro Al_2O_3 *ceramic tube*, lapisan sensitif berupa SnO_2 , elektroda pengukuran dan pemanas ditetapkan di dalam lapisan yang terbuat dari plastik dan jaring *stainless steel*. Pemanas menyediakan kondisi kerja yang penting untuk kerja dari komponen sensitif. MQ-5 memiliki 6 pin, 4

diantaranya digunakan untuk menjemput sinyal dan 2 lainnya digunakan untuk menyediakan arus listrik pemanasan.

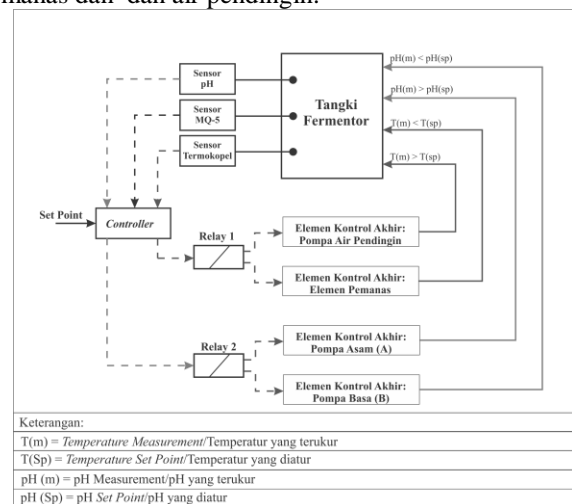
2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan perancangan program meliputi program pada pengendalian pH dan suhu, serta pada pendeteksi alkohol. Kemudian hasil perancangan diuji coba dengan melakukan uji kinerja berupa kalibrasi, parameter kontrol yang dihasilkan, dan uji kinerja berdasarkan proses fermentasi.

Perancangan Perangkat

Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merancang perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan pada modifikasi alat *microferm* fermentor. Untuk perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3. Perancangan tersebut meliputi mikrokontroler sebagai pengendali, LCD sebagai display, dan elemen kontrol akhir sebagai perubahan aksi proses yang meliputi pompa air pendingin, elemen pemanas tipe *helical coil*, dan pompa dosing serta perancangan pada rangkaian elektronik.

Pada perancangan perangkat lunak, kontrol on/off otomatis diaplikasikan untuk mengontrol pH dan suhu pada proses fermentasi. Program yang digunakan pada perancangan perangkat lunak adalah program arduino. Masukan dari kontrol on/off otomatis adalah error pH dan suhu. Error akan diolah oleh algoritma kontrol sehingga menghasilkan sinyal kontrol yang diumpangkan ke pengontrolan tegangan AC yang nanti digunakan untuk mengatur pompa peristaltik, elemen pemanas dan dan air pendingin.



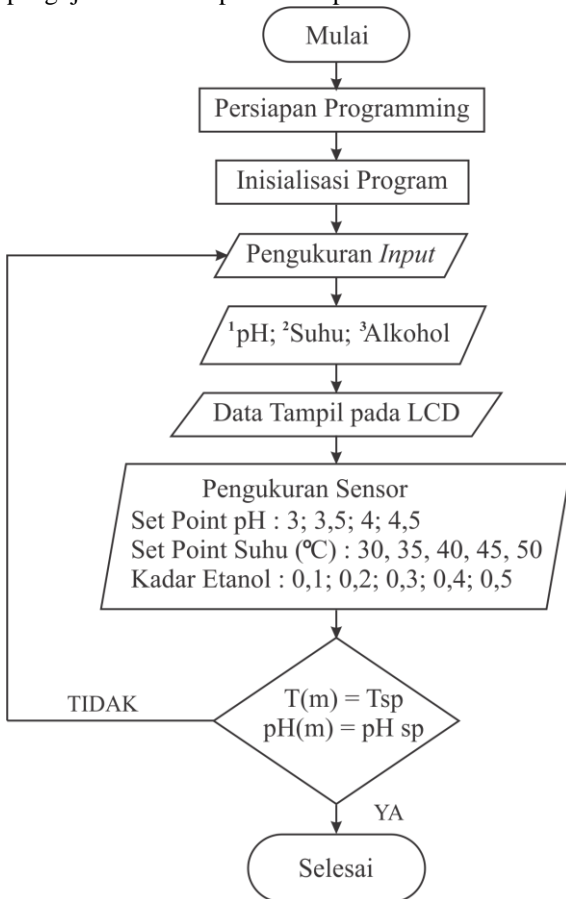
Gambar 2. Perancangan Perangkat Keras

Uji Kinerja Sensor

Tahap kedua pada penelitian ini adalah melakukan uji kinerja sensor. Uji kinerja pertama adalah perlakuan kalibrasi. Kalibrasi yang dilakukan adalah kalibrasi sensor gas MQ-5 terhadap kadar etanol standar, kalibrasi termokopel tipe-K sebagai sensor suhu yang

dibandingkan dengan termometer raksa, dan kalibrasi sensor pH Dfrobot SEN0169 dilakukan terhadap larutan standar pH. Kalibrasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor dapat digunakan untuk mendeteksi parameter yang dibutuhkan dan untuk mengetahui persentase kesalahan yang diakibatkan oleh sensor.

Uji kinerja sensor berikutnya berupa pengukuran dan pengendalian terhadap variasi harga set point pH dan suhu, serta variasi alkohol standar. Hal ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan sensor yang digunakan dan untuk melihat apakah dengan diterapkannya pengendalian, sistem tersebut mampu mencapai harga set point yang ditentukan. Diagram pengujian sensor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Pengujian Pembacaan

Metode selanjutnya yang digunakan adalah uji kinerja dengan melakukan proses fermentasi pada alat *microferm* fermentor. Bahan yang digunakan dalam uji kinerja antara lain: gula pasir 3 kg, air 12 liter, *saccharomyces cerevisiae* 84 gram, urea 20 gram, dan NPK 42 gram. Fermentasi dilakukan selama 143 jam dengan kapasitas volume reaktor 15 liter. Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan pengukuran kadar bioetanol untuk mengetahui kinerja sistem pengendalian proses. Untuk sensor pH dilakukan perhitungan efisiensi elektroda sebelum dan setelah fermentasi,

dengan persamaan (YSI Laboratory pH Handbook, 2015):

$$\text{Electrode Efficiency} = \frac{\text{Observed Slope}}{\text{Theoretical Slope}} \times 100 \% \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan sistem pengendalian proses pada penelitian ini dirancang dengan menggunakan konfigurasi *feedback*, yaitu output atau hasil dari suatu proses diukur, kemudian hasil pengukuran dibandingkan dengan set point, perbedaan antara hasil ukur dan set point kemudian digunakan untuk menggerakkan elemen kontrol akhir proses, sehingga menghasilkan output pengukuran yang mendekati atau sama dengan nilai set point. Hasil dalam penelitian ini dibagi kedalam tiga kelompok yaitu sistem pengendalian pH, sistem pengendalian suhu dan sistem pendeteksi alkohol.

Sistem Pengendalian pH

Data hasil penelitian yang dilakukan dalam uji kinerja pengendalian pH dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kontrol Sensor pH

No.	Parameter Kontrol	Hasil
1.	Rentang pH Kontrol	0 – 14
2.	Error	≤ 1 %
3.	Toleransi	-0,08 s.d 0,1
4.	Output Controller (%P)	0 – 100 %
5.	Daerah Netral	± 0,1
6.	Dead Time	15 detik
7.	Control lag	5 detik
8.	Waktu Satu Periode Osilasi	52,5 detik

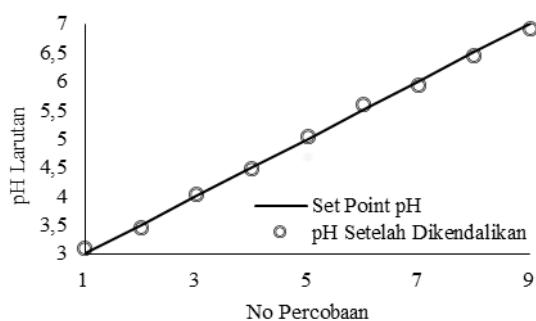
Pada Tabel 1 terlihat bahwa waktu mati yang terjadi pada sistem sebesar 15 detik. Hal ini terjadi saat sensor pH mendeteksi adanya error dari pengukuran terhadap set point, sensor pH kemudian memberikan output kontroler ke elemen kontrol akhir yang segera bergerak memberikan perubahan terhadap proses, namun karena letak yang jauh dari elemen kontrol akhir ke proses, perubahan tersebut tidak langsung dapat diterima oleh proses, sehingga transduser pengukuran masih tetap memberikan harga pengukuran yang belum mengalami perubahan kepada kontroler, waktu mati ini dapat mengakibatkan *undershoot* dan *overshoot* pada proses.

Rentang pH kontrol yang dihasilkan yaitu 0 sampai 14. Rentang terendah dan tertinggi pada pengukuran didapatkan karena larutan yang digunakan dalam pengukuran adalah HCl 1 M dan NaOH 1 M. Hal tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Shipman dkk (1993) dalam bukunya yang berjudul *Introduction to Physical Science*, bahwa NaOH 1 M memiliki pH 14 dan HCl 1 M memiliki pH 0. Sensor pH dapat mengukur harga asam dikarenakan ion H^+ terikat ke permukaan *bulb* sehingga menimbulkan muatan positif terakumulasi pada lapisan gel, untuk larutan basa pengukuran terjadi karena ion H^+ dari dinding *bulb* terlepas untuk bereaksi dengan larutan basa.

Parameter kontrol error yang dihasilkan $\leq 1\%$. Hasil tersebut didapatkan dari pengukuran sensor pH terhadap larutan standar pada kondisi suhu 25°C , hasil pengukuran mendekati nilai sesungguhnya dari larutan standar dengan selisih pengukuran terbesar adalah 0,04 dan perentase error tertinggi 1%. Selisih dan error yang terjadi dalam pengukuran ini sesuai dengan spesifikasi hasil pabrik yang dikeluarkan yaitu dengan akurasi $\pm 0,1$; dari akurasi ini dapat dinyatakan bahwa kinerja sensor pH yang dihasilkan sangat baik.

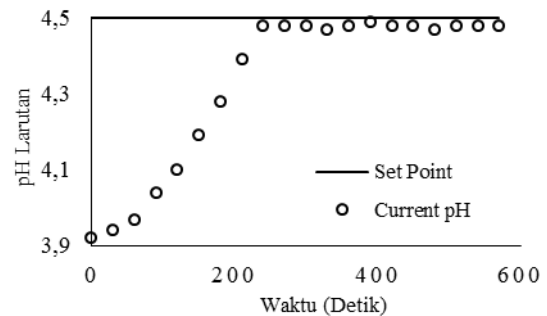
Parameter kontrol berupa output kontroler sebesar 0-100%. Output kontroler tersebut menandakan gerakan minimum dan maksimum dari elemen kontrol akhir. Untuk perancangan sistem pengendalian pH ini menggunakan elemen kontrol akhir berupa pompa asam dan pompa basa. Untuk output kontroler yang dihasilkan adalah 0 % atau 100 %. Hal demikian karena dalam pengukuran menggunakan metode on/off, yaitu metode yang hanya mengeluarkan dua harga output berdasarkan error yang terjadi.

Toleransi yang dihasilkan sebesar -0,08 sampai 0,1. Harga toleransi yang didapatkan dilakukan dengan pengujian pengendalian pH pada set point pH 3 sampai 7 dengan rentang pH 0,5 setiap pengukuran. Pada pengendalian pH ini set point yang dikendalikan memiliki histerisis $\pm 0,1$. Pengukuran menggunakan histerisis akan lebih efektif dikarenakan pengendali tidak memberi perintah gerakan kepada pompa dosing apabila berada pada daerah rentang pengukuran. Tujuan histerisis adalah untuk menjaga umur pompa dosing, karena tanpa histerisis maka pompa asam ataupun basa akan terus hidup secara bergantian untuk menjaga pH tepat pada set point. Untuk uji kinerja sensor pH berupa toleransi yang dihasilkan pada pengendalian dengan pengaturan set point dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengujian Pengendalian pH

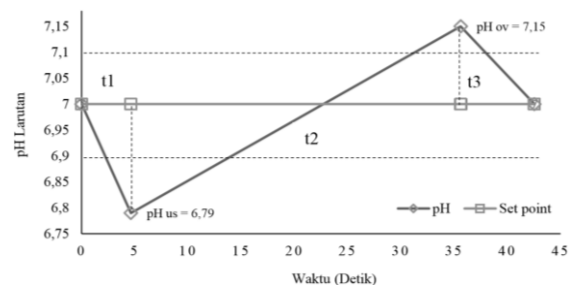
Suatu proses yang dinamis akan selalu mengalami perubahan yang dapat berakibat kepada kestabilan proses. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari seluruh rangkaian, dimana alat akan dimasukkan nilai dan sensor akan membaca pHnya untuk mengetahui kestabilan dari rangkaian. Hasil pengujian kestabilan pH dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kestabilan Pengendalian pH

Dari Gambar 5 menghasilkan grafik dengan tingkat stabil yang tinggi, hal ini sesuai dengan gambar yang dihasilkan dari persyaratan dalam sistem pengendalian proses yaitu suatu proses diharapkan stabil agar proses berjalan aman dan menghasilkan produk sesuai (Stephanopoulos, 1989). Grafik tersebut mengalami kestabilan yang baik, karena pompa asam dan basa dapat dikontrol dengan baik oleh sistem pengendalian arduino. Pada perancangan sistem pengendalian proses berupa pH yang dihasilkan mengalami sedikit osilasi pada pH yang ditentukan dengan selisih $\pm 0,1$.

Untuk uji kinerja *control lag* yang dihasilkan pada perancangan sistem pengendalian pH sebesar 5 detik. Waktu yang terjadi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sensor pH untuk melakukan evaluasi hingga menghasilkan output *controller* untuk pompa dosing. Kelambatan proses dalam sistem ini dipengaruhi oleh besarnya laju alir pompa dosing yang diatur ke proses. Dengan adanya *control lag* ini menyebabkan tercapainya lonjakan pH minimum dan pH maksimum. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pH terhadap Waktu Periode Osilasi

Berdasarkan Gambar 6 dan hasil perhitungan, didapatkan waktu satu periode osilasi sebesar 52,5 detik. Waktu tersebut didapatkan dengan pengendalian yang dimulai dari set point 7 dan histerisis $\pm 0,1$. Dari grafik terlihat bahwa pH 7 terjadi penurunan hingga pH 6,9 selama 4,62 detik. Sistem pengendalian on/off ini mempunyai *control lag* selama 5 detik, yang berarti kontroler terlambat memberikan perintah kepada pompa basa untuk hidup mengalirkan larutan NaOH ke dalam tangki, sehingga penurunan pH tetap terjadi dan terjadi *undershoot*.

Setelah mencapai pH 6,79; pompa basa baru hidup untuk mengalirkan larutan NaOH hingga mencapai pH maksimum 7,1. pH naik selama 31 detik hingga pH mencapai 7,1. Seharusnya pompa basa kemudian mati karena batas error atas adalah 7,1; namun karena adanya *control lag*, pompa basa tetap hidup dan mengakibatkan terjadinya lonjakan pH maksimum.

Namun dalam pengendalian sesungguhnya, sistem diatur optimum sehingga tidak mengalami kesalahan. Faktor penyebab ketidaksesuaian pada pengukuran pH adalah laju alir pompa, karena pada dasarnya waktu *control lag* yang dihasilkan sangat kecil, sehingga tidak terlalu mempengaruhi proses apabila laju alir dari elemen kontrol akhir diatur secara optimum.

Pengujian *control lag* tersebut dilakukan untuk membandingkan antara hasil pengukuran yang di dapat oleh sensor dengan hasil perhitungan, dimana peneliti secara sengaja mengatur pengendalian agar mengalami proses *undershoot* dan *overshoot*. Setelah dilakukan analisis perhitungan dan grafik, didapatkan hasil yang sama dengan harga pengukuran dari sensor pH, hal menandakan bahwa uji kinerja sensor sangat baik. Maka dari itu melalui uji kinerja ini diharapkan tidak terjadinya *undershoot* dan *overshoot* pada pengukuran, sehingga dapat menghasilkan kualitas produk tinggi, terutama untuk produk biokimia yang menggunakan mikroba sebagai faktor utama keberhasilan proses.

Untuk uji kinerja sensor berdasarkan efisiensi elektroda pH sangat baik yaitu sebesar 99,75%; hal ini menandakan bahwa sensitivitas elektroda juga baik. Namun setelah proses fermentasi, efisiensi elektroda mengalami penurunan 12,56%. Penurunan disebabkan karena pemakaian secara kontinu, namun efisiensi tersebut dapat ditingkatkan kembali dengan perendaman KCl 0,3 N selama 8 jam. Hal ini dikarenakan KCl memiliki koneksi ke elektroda yang baik dan netral secara kimia, sehingga KCl digunakan untuk elektrolit standar pada perancangan sensor pH.

Selain itu pada uji kinerja sistem pengendalian proses ini mampu menghasilkan kadar bioetanol sebesar 8,925 % pada kondisi pH 4,5, suhu 32°C dan waktu fermentasi 6 hari. Dengan dihasilkannya kadar etanol tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa perancangan dan uji kinerja sistem pengendalian pH dapat digunakan pada proses fermentasi secara kontinu dan dapat diterapkan pada *microferm* fermentor.

Sistem Pengendalian Suhu

Pada perancangan sistem pengendalian suhu, elemen kontrol akhir yang digunakan adalah pemanas koil dan sistem air pendingin. Hasil uji kinerja sensor suhu berdasarkan parameter kontrol yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Parameter Kontrol Sensor Suhu

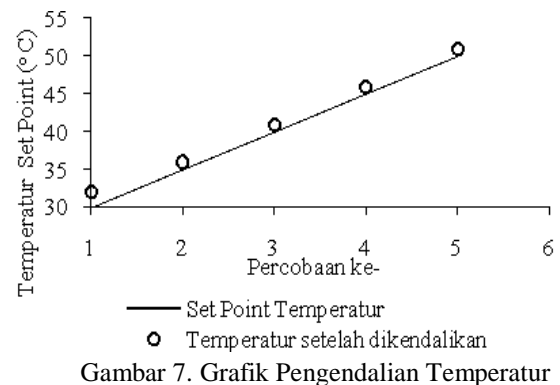
No.	Parameter Kontrol	Hasil
1.	Rentang Variabel Kontrol	30 – 50°C
2.	Error (E)	±0,8125°C
3.	Histerisis	±1

4.	Daerah Netral	2
5.	Output Controller (%P)	0 – 100%
6.	Output sinyal controller	T = 30°C; 5,53 mA T = 50°C; 12,62 mA
7.	Control Lag (Detik)	96
8.	Periode Osilasi (Menit)	11,3

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh harga rentang variabel kontrol berhubungan dengan *output controller* dan *output* sinyal controller. Harga pengukuran dari sinyal controller akan sebanding dengan nilai terendah dan nilai tertinggi dari rentang variabel kontrol. *Output controller* memberikan pengaruh terhadap gerakan maksimum dan minimum pada elemen kontrol akhir.

Deviasi rata-rata pengukuran antara termokopel tipe-K dan kalibrator sebesar ±0,8125°C dengan selisih pengukuran tertinggi sebesar 2°C. Selisih ini terjadi karena rangkaian *direct current* menggunakan *op-amp* cenderung lebih rentan terhadap perubahan temperature sehingga pada keluaran sering terjadi kesalahan walaupun hanya sebatas microvolt yang nantinya akan dikonversi menjadi derajat celsius (Huda, 2011).

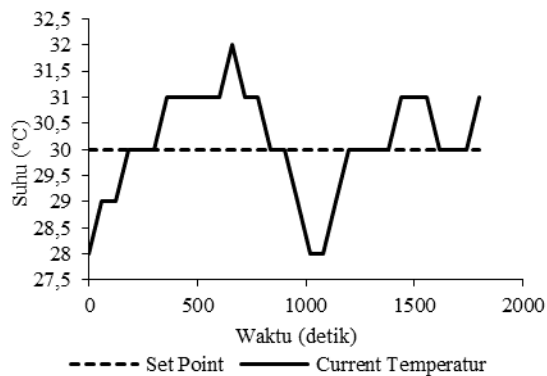
Selanjutnya, pengujian pengendalian suhu ini diatur berdasarkan histerisis sebesar ±1 disetiap *set point*nya. Pemberian efek ini akan memberikan daerah netral dua kali harga histerisis. Hasil pengujian pengendalian suhu dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 merupakan pengendalian temperatur yang diatur pada variasi *set point* 30, 35, 40, 45 dan 50. Pada grafik terlihat bahwa temperatur setelah dikendalikan memiliki error rata-rata ±1,2°C, hal ini dikarenakan pemberian efek histerisis tersebut sehingga pada saat suhu telah mencapai *set point*, suplai panas tidak akan langsung terputus, tetapi akan perlahan-lahan menurun hingga akhirnya terputus penuh. Histerisis memberikan batas atas dan batas bawah disekitar rentang *set point*.

Pemberian efek histerisis bertujuan untuk menjaga ketahanan umur *relay*, karena tanpa histerisis maka *relay* akan terlalu sering hidup dan mati untuk menjaga suhu tepat pada *set point*. Setelah *set point* telah diterapkan pada sistem pengendalian, maka langkah selanjutnya adalah memastikan kestabilan proses yang diberikan sistem. Namun kestabilan proses biasanya dipengaruhi oleh *control lag* dan periode osilasi/sikling. Oleh

karena itu, kestabilan pengendalian diilustrasikan pada *set point* 30°C dan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Kestabilan Pengendalian Suhu

Grafik menunjukkan bahwa pada suhu awal 28°C, terjadi peningkatan waktu pemanasan yang cukup pesat, hal ini karena transduser suhu mengukur suhu cairan didalam tangki masih lebih rendah daripada suhu *set point*. Untuk menguji kestabilan, dilakukan pengamatan satu periode osilasi dalam pengendalian, yaitu dimulai dari suhu *set point* sehingga perhitungan waktu periode osilasi adalah hingga suhu *set point* tercapai kembali. Kestabilan pengendalian mulai diamati ketika temperatur *set point* 30°C sudah mulai tercapai, dimana pemanasan yang terjadi mula-mula naik secara linier sampai mencapai T_{Sp} , namun karena sisa energi yang dialirkan dari listrik ke *heater* dan diteruskan ke umpan masih besar, maka temperatur yang terukur masih tetap naik. Faktor lain yang menyebabkan kenaikan temperatur adalah pada saat pemanas sudah dalam posisi *off*, sirkulasi air pendingin belum tersebar rata dan dikarenakan laju pendinginan dan pemanasan yang kurang seimbang.

Pada grafik juga terlihat bahwa terjadi beberapa lonjakan temperatur yang melebihi batas atas (*overshoot temperature*) dan batas bawah (*undershoot temperature*) pada proses pengukuran. Hal ini dikarenakan karena adanya *control lag* rata-rata selama 96 detik yang berarti *controller* terlambat memberikan perintah kepada elemen kontrol akhir pemanas untuk hidup dan memanaskan cairan dalam tangki, sehingga pendingin akan tetap hidup menurunkan temperatur.

Control lag terjadi karena keterlambatan transduser suhu dalam mengukur suhu didalam tangki dan mengakibatkan sinyal kontrol yang akan dikirim ke *controller* terlambat, sehingga berimbas pada perintah yang akan diberikan pada elemen kontrol akhir.

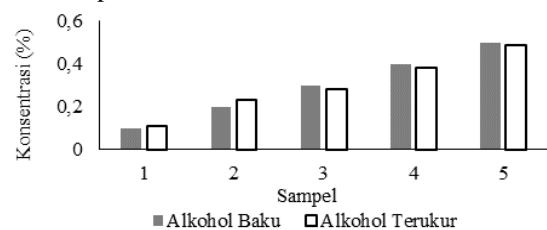
Grafik membentuk gelombang sinoidal, idealnya nilai variable proses akan tetap terkendali dan selalu sama dengan *set point*, namun pada praktiknya kondisi ideal sangat sulit dicapai dan hanya bisa mendekati kondisi ideal saja. Variabel proses dapat mengalami perubahan seperti yang ditunjukkan grafik, terlihat bahwa setelah mencapai *set point* perubahannya tidak

linier dan sempurna namun sistem masih tetap memberikan respon untuk menjaga suhu *set point*.

Oleh karena itu, perancangan pengendalian suhu ini dapat dikategorikan dalam tanggapan transien osilasi kontinyu dengan sistem regulasi diri orde dua teredam. Sistem regulasi diri orde dua teredam memiliki ciri respon berupa *overshoot* yang melewati titik *steady-state* (keadaan tunak) dan diikuti osilasi dengan amplitudo yang awalnya besar namun berlangsung mengecil (Heriyanto, 2011).

Sistem Pendeteksi Alkohol

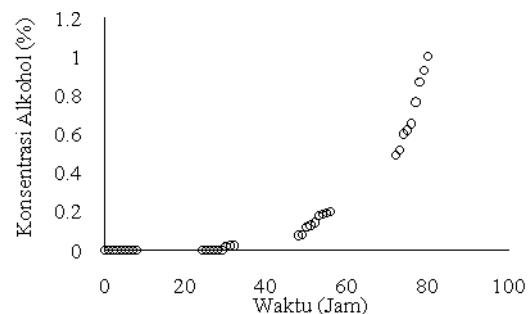
Pengukuran kadar alkohol dilakukan dengan menggunakan Sensor Gas MQ-5. Untuk mengetahui apakah sensor tersebut layak atau tidak digunakan pada penelitian, maka perlu dilakukan perbandingan hasil pengukuran sensor terhadap larutan baku. Perbedaan hasil pengukuran dengan larutan baku dikatakan sebagai eror. Hasil uji kinerja sensor pada larutan baku dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Uji Kinerja Sensor Gas MQ-5

Pada Grafik dapat dilihat hasil pengukuran kadar alkohol yang terukur menunjukkan hasil yang sangat baik, di mana nilai yang terukur sangat mendekati dengan nilai konsentrasi alkohol baku. Perbedaan pengukuran yang terdapat pada pengukuran disebabkan oleh toleransi yang dimiliki sensor dan larutan alkohol baku. Bila dilihat dari *datasheet* maka sensor layak dipakai.

Penelitian untuk menguji kinerja Sensor Gas MQ-5 pada fermentor dilakukan selama empat hari dengan volume produk sebesar 12 liter yang dilakukan secara diskontinyu. *Set point* suhu yang digunakan adalah 32°C dan pH 4,5. Data hasil pengamatan diambil setiap satu jam sekali untuk mengetahui perkembangan yang terjadi di dalam fermentor. Peningkatan konsentrasi alkohol dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Laju Perubahan Konsentrasi Alkohol

Dari pengamatan hari pertama yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa tidak adanya kandungan alkohol pada fermentor. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme yang masih mengalami fase adaptasi. Fase adaptasi ini masih berlangsung hingga di pertengahan hari ke-2, pada jam ke 30 pada hari ke-2 mulai terjadi perubahan konsentrasi alkohol yang sangat kecil. Pada hari ke-3 dan ke-4 mikroorganisme memasuki fase eksponensial, dimana alkohol yang terbentuk cukup banyak.

Selama fase eksponensial nutrisi yang dibutuhkan mikroorganisme untuk pertumbuhan sangat tercukupi dan kondisi operasi sangat sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme sehingga mencapai laju pertumbuhan maksimumnya, hal inilah yang menyebabkan terjadi perubahan konsentrasi alkohol yang cukup signifikan.

Bila dilihat peralihan dari hari ke-3 menuju hari ke-4 terjadi perubahan konsentrasi alkohol sebesar 0,29%. Perubahan ini mengindikasikan bahwa meskipun tanpa dilakukan pengendalian, nutrisi dan kondisi yang dibutuhkan masih tercukupi.

Pengukuran konsentrasi alkohol dapat dilakukan karena alkohol merupakan zat cair dari jenis volatil (mudah menguap) yang memiliki ikatan antar molekul yang lemah, sehingga pada suhu kamar, alkohol sudah mengalami perubahan fasa dari cair menjadi gas (Satria dan Wildian, 2013). Volatilitas berhubungan dengan jumlah ikatan hidrogen, ketika molekul alkohol pada pada cairan memiliki energi yang cukup untuk melepaskan ikatan hidrogen yang menghubungkannya dengan air, maka alkohol akan berubah menjadi fase gas.

4. SIMPULAN

Dari hasil perancangan dan uji kinerja sistem pengendalian proses dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor pH Dfrobot SEN0169, termokopel tipe-K, dan sensor gas MQ-5 dapat digunakan sebagai sistem pengendalian proses otomatis yang diterapkan pada *microferm* fermentor untuk proses fermentasi secara kontinyu, karena sistem ini memiliki rentang kesalahan pengukuran $\leq 1\%$.
2. Sensor pH Dfrobot SEN0169, termokopel tipe-K, dan sensor gas MQ-5 yang diterapkan pada *microferm* fermentor untuk proses fermentasi sebagai sistem pengendalian dan sistem pendeteksi memenuhi uji kinerja yang layak, dengan persentase kesalahan pengukuran $\leq 1\%$ dan kontroler mampu melakukan pengukuran pH kontrol 0-14 dan suhu kontrol 30-50°C. Pada pengendalian metode *on-off* otomatis, pH yang dikendalikan memiliki toleransi sebesar -0,08 sampai 0,1 dan waktu satu perioda osilasi yang terjadi dalam sistem pengendalian sebesar 52,5 detik, sedangkan pada pengendalian suhu *error* pengukuran yang terjadi sebesar $\pm 0,8125^\circ\text{C}$ dengan *control lag* 96 detik dan periode osilasi selama 11,3 menit, dan untuk sensor sas MQ-5 hanya mampu

membaca konsentrasi alkohol dalam *range* konsentrasi 200-10000 ppm atau 0,02-1%.

3. Sensor pH Dfrobot SEN0169 dan termokopel tipe-K, dapat digunakan sebagai kontroler dalam proses fermentasi secara terus-menerus, karena pada sensor pH memiliki efisiensi elektroda sebesar 99,75% dengan histerisis $\pm 0,1$ dan untuk sensor suhu memiliki kesalahan pengukuran tertinggi sebesar 2°C dengan histerisis ± 1 , serta pada sistem pengendalian proses ini mampu menghasilkan produk fermentasi sesuai dengan kondisi pH dan suhu yang diinginkan. Uji kinerja sistem pengendalian ini menghasilkan kadar bioetanol 8,925%, hal ini membuktikan bahwa pengendalian sangat dibutuhkan dalam proses fermentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Abrina, Susy Yuniningsih, dan Mauritsius Melkysedes Sota. 2017. *Pengaruh pH terhadap Kualitas Produk Etanol dari Molasses Melalui Proses Fermentasi Sp*. Teknik Kimia, Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. Vol. 2, No. 2.
- Ariffudin, S. D., dan Diah W. 2014. *Perancangan Sistem Pemanas pada Rancang Bangun Mesin Pengaduk Bahan Baku Sabun Mandi Cair*. Jurnal Rekayasa Mesin, Vol. 1 No. 2 Hal. 52-57.
- A.W. Utama, A.M. Legowo dan A.N. Al-Baarri. 2013. *Produksi Alkohol, Nilai pH, dan Produksi Gas pada Bioetanol dari Susu Rusak dengan Campuran Limbah Cair Tapioka*. Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan Vol.2, No.2. *Indonesian Food Technologist Community*.
- Balai Teknologi Komunikasi Pendidikan (Tekkomdik). 2016. *Workshop Robotik*. Yogyakarta.
- Bayusari, I., Caroline, Septiadi, R., dan Suprpto, B. Y. 2013. *Perancangan Sistem Pemantauan Pengendali Suhu pada Stirred Tank Heater Menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition*. Jurnal Rekayasa ElektriKa, Vol.10, No.3, Hal 153-159.
- Dompeipen, Edward J. dan Riardi P, 2015. *Pengaruh Waktu dan pH Fermentasi dalam Produksi Bioetanol dari Rumpun Laut Eucheuma Cottonii menggunakan Asosiasi Mikroba (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus Niger dan Zymomonas Mobilis*. Balai Riset dan Standardisasi Industri Ambon, Vol.11, No.2, Hal 63-75.
- Heriyanto. 2011. *Pengendalian Proses*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Huda, S. N. 2011. *Rancang Bangun Sistem Pengendali Temperatur Furnace dengan menggunakan Sensor*

Termokopel Tipe K Berbasis Mikrokontroler Atmega 16. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia: Depok.

McMillan, G.K. 1999. *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook*. McGraw-Hill.

Merta, G. S., Widagda, I. A., dan Paramata, I. B. 2017. *Perancangan Alat Ukur Kadar Alkohol Menggunakan Sensor MQ-3 Berbasis Mikrokontroler AtMega16*. Buletin Fisika Vol. 18 No. 2, 74-80.

Rahmat, M. R. 2015. *Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 2, No. 3, Hal. 133-148.

Sabrina, Nimas Mayang. 2012. *Bioindustri*. Teknologi Industri Pertanian Universitas Brawijaya.

Satria, A.V dan Wildian, 2013. *Rancang Bangun Alat untuk Mengukur Kadar Alkohol pada Cairan Menggunakan Sensor MQ-3 Berbasis Mikrokontroler AT89S51*. Jurnal Fisika Unand, Vol.2, No.1, ISSN 2302-8491.

Shipman, J., Wilson, J., Todd, A., *An Introduction to Physical Science*, 7th Ed., D. C. Heath, 1993.

Stephanopoulos, George. 1989. *Chemical Process Control*. Prentice Hall International, Singapore.

Syahwil, M. 2017. *Panduan Mudah Belajar Arduino menggunakan Simulasi Proteus*. Yogyakarta.

YSI Laboratory pH. 2015. *A Practical Guide to pH Measurement*. A Xylem Brand: Amerika.